

# РАЗРАБОТКА РОБАСТНОГО АЛГОРИТМА ГАРАНТИРОВАННОГО ЭЛЛИПСОИДАЛЬНОГО ОЦЕНИВАНИЯ И ЕГО ПРИМЕНЕНИЕ ДЛЯ ОРИЕНТАЦИИ ИСКУССТВЕННОГО СПУТНИКА ЗЕМЛИ

Шолохов А. В., Панкратова Н. Д.

*Институт прикладного системного анализа  
Национальный технический университет Украины «Киевский  
политехнический институт имени Игоря Сикорского»  
Украина, 03056, г. Киев, проспект Победы, 37  
natalidmp@gmail.com, gyroalex@ukr.net*

Ориентация большинства космических аппаратов, в том числе искусственных спутников Земли (ИСЗ), является необходимым режимом в процессе их целевого функционирования на орбите [1]. При этом оценивание углового положения и угловой скорости спутника осуществляется по сигналам позиционных датчиков и гироскопических датчиков угловой скорости (ДУС); соответственно. Важным режимом является угловая стабилизация в орбитальной системе координат. Актуальной задачей является определение минимального состава бортовых датчиков (без учета резервирования) и требования к классу их точности; для достижения и сохранения требуемой точности ориентации в орбитальной системе координат. Линеаризованная модель углового движения описывается уравнением

$$x_{j+1} = A_j x_j + w_j, j \in T_0. \quad (1)$$

Здесь:  $j \in T_0 = [0, 1, \dots, k]$  – дискретное время ( $k < \infty$ ),  $x_j \in R^n$  – вектор фазового состояния в  $j$ -момент времени,  $w_j \in R^n$  – вектор помехи,  $A_j \in R^{n \times n}$ . Пара  $(A_j, f)$  – управляема. В уравнении (1) переменные и параметры приняты [2]:  $x_j^T = [\varphi_j, \psi_j]$ , где  $\varphi_j$  – крен,  $\psi_j$  – курс; матрица  $A = e^{\Omega \Delta t}$ , где  $\Omega = \begin{bmatrix} 0 & -\omega_{\text{ors}} \\ \omega_{\text{ors}} & 0 \end{bmatrix}$ , где  $\omega_{\text{ors}}$  – угловая скорость вращения орбитальной системы координат относительно инерциальной системы координат вокруг оси, перпендикулярной плоскости орбиты;  $\Delta t$  – временной интервал, на котором момент, управляющий движением спутника вокруг его центра масс, остаётся постоянным. Модель помехи  $f^T = [0, 1](2)$ , что означает действие возмущения только на неизмеряемую переменную, поскольку величина возмущения по переменной  $\varphi_j$  всегда ограничена погрешностью измерителя этого угла;  $\rho = d = \omega_{\text{drift}} \Delta t = \text{const}$ , где  $\omega_{\text{drift}}$  – «сдвиг нуля»

датчика угловой скорости (ДУС) по каналу курса.

Полагая, что на борту имеется один построитель местной вертикали (ПМВ) [3, 4], и датчики угловой скорости (ДУС) [5], измеряющие абсолютную угловую скорость вращения ИСЗ, «воспроизводим» на борту ИСЗ гироорбиту. Наблюдатель состояния использует робастный алгоритм эллипсоидального оценивания [6], в котором минимизируется след матрицы эллипсоида, оценивающего возможное состояние системы (1)

$$\bar{x}_{j+1} = e^{A\Delta t_j} \bar{x}_j + \tau_j e_j^{-1} H_j h(y_j - h^T e^{A\Delta t_j} \bar{x}_j).$$

Выражение для матрицы эллипсоида множества достижимости:

$$H_{j+1} = (1 + \bar{k})(\bar{k}^{-1} f f^T (d\Delta t_j)^2 + e^{A\Delta t_j} H_j e^{A^T \Delta t_j}), \bar{k}_j^2 = f^T f (d\Delta t_j)^2 \text{trace}(e^{A\Delta t_j} H_j e^{A^T \Delta t_j})^{-1}.$$

Здесь  $\tau_j$ ,  $e_j$  определяемые в ходе работы параметры.

В результате получаем требования к классу точности ПМВ и ДУС при заданной точности ориентации.

Моделирование в среде MATLAB показывают работоспособность предложенного алгоритма и практическую ценность для определения требований к бортовым датчикам угловой скорости и углового положения.

### Список литературы

1. Раушенбах Б.В., Токарь Е.Н. Управление ориентацией космических аппаратов. Москва: «Наука», 1974. – 600с.
2. Кузовков Н.Т. Модальное управление и наблюдающие устройства. М.: «Машиностроение», 1976. 184с.
3. Беленький А.Д., Васильев В.Н., Семенов М.Е. Исследование динамики ориентации и стабилизации по курсу космического аппарата «Метеор-М» при использовании информации инфракрасной вертикали и датчиков угловой скорости. *Вопросы электромеханики*. Т.107. 2008. С. 38-45.
4. Гандлевский Ю.М., Михайлов Е.Н., Мосолова Ю.С., Рабовский А.Е. Оценка точности инфракрасных построителей местной вертикали по результатам лётных испытаний. *Вопросы электромеханики*. 2014. Т.141. С. 31-38.
5. Розрахунок і проектування гіростабілізаторів. Методичні вказівки до вивчення дисципліни «Гіроскопічні системи стабілізації та орієнтації». К., 2003. 76с.
6. Шолохов А. В. К эллипсоидальному оцениванию состояния линейной динамической системы по скалярному наблюдателю. *Системні дослідження та інформаційні технології*. 2008. № 3. С. 78-87.